

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Adubação Nitrogenada em Mandioca (*Manihot
esculenta* Crantz): Efeitos Sobre o Crescimento da
Cultura**

Eva Aparecida de Souza

2000



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MANDIOCA (*Manihot esculenta*
CRANTZ): EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO DA CULTURA**

EVA APARECIDA DE SOUZA

Sob a Orientação do Professor
Roberto Oscar Pereyra Rossiello

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências**, no
Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Setembro de 2000

633.682

S729a

T

Souza, Eva Aparecida de, 1969-

Adubação nitrogenada em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): efeitos sobre o crescimento da cultura / Eva Aparecida de Souza. – 2000.

33 f.: il.

Orientador: Roberto Oscar Pereyra Rossiello.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 29-33.

1. Mandioca - Cultivo – Teses. 2. Mandioca – Adubos e fertilizantes - Teses. 3. Mandioca – Crescimento – Teses. 4. Plantas – Efeito do nitrogênio – Teses. 5. Nitrogênio - Fixação – Teses. I. Rossiello, Roberto Oscar Pereyra, 1948- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

EVA APARECIDA DE SOUZA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**,
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/09/2000.

Roberto Oscar Pereyra Rossiello. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ

Mário Sosa Parraga. Dr. UFRRJ

AGRADECIMENTOS

À Deus, criador e sustentador de nossas vidas, sempre presente em todos os momentos, guiando e protegendo os meus passos;

À minha família que sempre caminhou na mesma direção dos meus objetivos, apoiando e incentivando;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela acolhida fraterna bem como, pela oportunidade de estudo, contribuindo para minha formação profissional;

Aos Departamentos de Solos e Fitotecnia, pelos recursos humanos e infraestrutura recebida para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Prof. Roberto Oscar Pereyra Rossiello pela orientação, amizade, presença, auxílio e ensinamentos durante o desenvolvimento deste trabalho;

Aos Professores, Mário Sosa Parraga e Eduardo Lima pelo apoio na orientação, ensinamentos, amizade e apoio recebido durante a execução deste trabalho;

Ao Prof. Manlio Silvestre Fernandes, pelo apoio e acolhida em seu laboratório, sempre disposto a ajudar, transmitindo seus conhecimentos de forma natural e peculiar;

Ao Prof. Adelson Paulo de Araújo, pela disponibilidade e apoio nas análises estatísticas;

Aos Professores do Departamento de Solos, pelos valiosos ensinamentos transmitidos;

Aos Funcionários do Departamento de Fitotecnia, em especial aos incansáveis do Setor de Horticultura, sempre dispostos a nos auxiliar;

Aos funcionários do Departamento de Solos, sempre solícitos e gentis;

Aos Funcionários da Pesagro (EEI), pelo esforço em zelar o experimento e por estar sempre dispostos a nos ajudar;

Aos colegas do curso de Pós Graduação em Agronomia, pela amizade, convívio e descontração;

Aos colegas do Alojamento da Pós-Graduação da UFRuralRJ, pela amizade;

Aos amigos que no decorrer deste trabalho, tornaram-se mais que irmãos: Rosiane Sales, Elizene e Geovane Nascimento, pelo apoio, compreensão e convivência harmoniosa;

Ao Reverendo Laércio Staneck Torres da Igreja Presbiteriana da Universidade Rural, pelos ensinamentos recebidos, sempre alicerçados na nossa única regra de Fé e Prática: A Bíblia Sagrada;

Aos Irmãos em Cristo da Igreja Presbiteriana da Universidade Rural, pela acolhida, carinho e amizade. O tempo passou, mas cada gesto, palavra de carinho e amor recebido, ficará registrado na memória, e quando juntos, na Jerusalém Celestial, esses momentos possam ser aprimorados e assim cantaremos com júbilo, louvores ao nosso Rei Jesus;

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!!

RESUMO

SOUZA, Eva Aparecida de. **Adubação nitrogenada em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): efeitos sobre o crescimento da cultura.** 2000. 33f. (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2000.

A mandioca é uma das principais fontes de carboidratos nos trópicos, fazendo parte da alimentação básica de cerca de 500 milhões pessoas, principalmente em países em desenvolvimento. Estudos com adubação nitrogenada em mandioca são escassos. O presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito de fontes e níveis de adubos nitrogenados sobre o acúmulo de matéria seca e distribuição de nitrogênio nas raízes e parte aérea da cultura da mandioca. O experimento foi instalado na Estação Experimental de Itaguaí (PESAGRO-RJ), sobre um solo Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, no período de maio de 1999 a junho de 2000. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso no esquema fatorial 3 x 5 com quatro repetições. Foram avaliadas três fontes de nitrogênio: uréia, nitrocálcio e sulfato de amônio, combinadas em cinco níveis de aplicação de N: 0; 60; 120; 160 e 200 kg N ha⁻¹. Cada parcela apresentou 64 m² com 12 sulcos, espaçados de 1,0 m. O plantio foi realizado em 28/05/1999, usando-se manivas da cultivar Saracura, obtidas de fonte comercial da região produtora de Santa Cruz, município do Rio de Janeiro. As doses de N foram aplicadas parceladamente, sendo metade por ocasião do plantio e a outra metade aos nove meses após o plantio. Foram realizadas coletas de material vegetal aos sete, onze e aos treze meses após plantio para determinar as seguintes variáveis: massa seca, N-total, proteína bruta, N-amino, N-nitrato e açúcares solúveis de raízes, folhas e caule. Aos sete meses após o plantio, a ureia apresentou maior valor de massa seca total. Aos 13 meses, nitrocálcio e sulfato de amônio proporcionaram rendimento de massa seca de raiz 20% superior ao da uréia. A aplicação de 30 kg N ha⁻¹ resultou em um aumento de 11% no teor de N em folhas. O teor de N em folhas foi aproximadamente sete vezes maior ao N da raiz. Durante o período de crescimento da cultura, houve uma resposta da mesma à aplicação de N, podendo se comportar como uma espécie eficiente pouco responsiva.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz. Nitrogênio. Matéria seca.

ABSTRACT

SOUZA, Eva Aparecida de. **Nitrogen fertilization in cassava (*Manihot esculenta* Crantz): effects on crop growth.** 2000. 33p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2000.

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is one of the main sources of carbohydrates for human food in the tropics, part of the staple food of about 500 million people, mainly in developing countries. The literature on cassava nitrogenous fertilization is scarce. This study aimed to evaluate the effects of levels and nitrogenous fertilizer sources on dry matter and nitrogen accumulation in roots and aerial parts of cassava. The experiment was conducted at the Experimental Station of Itaguaí/PESAGRO-Rio in Seropédica, State of Rio de Janeiro, on a Red-Yellow Podzolic soil, in the period May 1999 to June 2000. The design of the field experiment was in randomized blocks with four repetitions, in a 3 x 5 factorial outline, made up of by three N sources (urea, nitrocalcium and ammonium sulphate) and five N levels (0, 60, 120, 180 and 200 kg N ha⁻¹). Each plot had 64.0 m² with 12 grooves, spaced at 1.0m. The planting was carried out on 28/05/1999 with cuttings of cultivar Saracura. The nitrogen levels were divided into two applications, the first half was applied planting and other half was applied 9 month later. Plants were harvested at 07, 11 and 13 months after planting and determined dry matter, total nitrogen, nitrate-N, amino-N, crude protein and soluble sugars in roots, leaves and stem. To 7 months after planting, urea showed higher total dry matter value. At 13 months, nitrocalcium and ammonium sulphate provided dry matter root yield 20 % higher than the urea. The N content in leaves was approximately 7 times bigger those the N root contents. The application of 30 kg N ha⁻¹ resulted in increase of 11% in leaf N content. There was a cassava response to N application and can behave as a specie efficient responsive little.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz. Nitrogen. Dry matter.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Efeito de doses de nitrogênio sobre a produção de massa seca foliar aos sete meses após o plantio. ($R^2 = 0,9737$). 15
- Figura 2.** Efeito de fontes e doses de N sobre a produção de massa seca de raiz de mandioca aos sete meses após o plantio. (U=Ureia; NC=Nitrocálcio; SA= Sulfato de amônio). 15

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Dados de umidade relativa, insolação, pluviosidade e temperatura (médias mensais) durante o ciclo de cultivo (maio de 1999 a julho de 2000).	10
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental ⁽¹⁾	10
Tabela 3. Matéria seca de raiz, folha, caule e matéria seca total de plantas de mandioca, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados aos sete meses após o plantio.	14
Tabela 4. Matéria seca de raiz, folha, caule e matéria seca total de mandioca aos sete meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	14
Tabela 5. Teor de N e % de proteína em raiz e folha de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	16
Tabela 6. Conteúdo de nitrogênio nas raízes e folhas de mandioca aos sete meses após plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	17
Tabela 7. Eficiência de uso de N para produção de biomassa em folhas e raízes de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	17
Tabela 8. Teor de N e proteína bruta em raízes e folhas de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	18
Tabela 9. Teores de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em folhas de mandioca, aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	19
Tabela 10. Teores de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em folhas de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	19
Tabela 11. Teor de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em raízes de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	19
Tabela 12. Teor de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em raízes de mandioca aos sete meses após plantio, sob diferentes níveis de adubos nitrogenados.	20
Tabela 13. Teor de açúcares solúveis em folhas e raízes de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	20
Tabela 14. Teor de açúcares solúveis em folhas e raízes de mandioca aos sete meses após o plantio sob diferentes níveis de adubos nitrogenados.	20
Tabela 15. Matéria seca de raiz, folha, caule, matéria seca total, índice de colheita (IC) e relação raiz/parte aérea de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	21
Tabela 16. Matéria seca de raiz, folha, caule, matéria seca total, índice de colheita (IC) e relação raiz/parte aérea de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	22
Tabela 17. Teor e conteúdo de N em raiz e folha de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	22
Tabela 18. Teor e conteúdo de nitrogênio em raiz e folha de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	23
Tabela 19. Teor de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	23

Tabela 20. Teor de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	24
Tabela 21. Teor de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em raízes de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	24
Tabela 22. Teor de N-amino e N-NO ₃ ⁻ em raízes de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	24
Tabela 23. Teor de Açúcares solúveis em raízes e folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	25
Tabela 24. Teor de Açúcares solúveis em raízes e folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	25
Tabela 25. Matéria seca de raiz, folha, caule, índice de colheita, relação raiz parte aérea e matéria seca total de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.....	26
Tabela 26. Matéria seca de raiz, folha, caule, índice de colheita (IC), relação raiz parte aérea e matéria seca total de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.....	26
Tabela 27. Teor e conteúdo de nitrogênio em raiz e folha de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.	27
Tabela 28. Teor e conteúdo de nitrogênio em raiz e folha de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A Cultura da Mandioca	3
2.2. Fatores Ambientais.....	4
2.2.1. Temperatura e fotoperíodo	4
2.2.2. Precipitação e evapotranspiração	5
2.2.3. Solos.....	5
2.3. Nutrição Mineral da Mandioca	6
2.4. Nitrogênio	7
2.5. Eficiência do Uso de Nitrogênio	7
2.6. Distribuição de Matéria Seca e Nitrogênio na Cultura da Mandioca.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1. Caracterização da Área Experimental.....	10
3.2. Condução do Experimento	11
3.3. Coleta e Parâmetros Avaliados	11
3.3.1. Determinação dos constituintes do extrato etanólico.....	12
3.3.2. Análise de massa seca e N-total	12
3.4. Análises Estatísticas	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1. Condições Climáticas Durante o Experimento	13
4.2. Efeito da Adubação Nitrogenada Sobre a Cultura da Mandioca aos Sete Meses Após o Plantio	13
4.2.1. Produção de biomassa	13
4.2.2. Teor e acúmulo de N na biomassa	16
4.2.3. Teor de N-amino e N-nitrato.....	18
4.2.4. Teor de açúcares solúveis.....	20
4.3. Efeito da Adubação Nitrogenada sobre a Cultura da Mandioca aos Onze Meses Após o Plantio	21
4.3.1. Produção de biomassa	21
4.3.2. Teor e acúmulo de N na biomassa	22
4.3.3. Teor de N-amino e N-nitrato.....	23
4.3.4. Teor de açúcares solúveis.....	25
4.4. Efeito da Adubação Nitrogenada sobre a Cultura na Mandioca aos Treze Meses Após o Plantio	25
4.4.1. Produção de biomassa	25
4.4.2. Acúmulo de N na biomassa.....	27
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é cultivada em mais de 90 países em regiões tropicais (Conceição, 1987), constituindo-se em uma das principais fontes de carboidratos nos trópicos, sendo a base da alimentação de cerca de 500 milhões de pessoas em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento (FAO, 1997). É considerada a mais brasileira de todas as plantas cultivadas, dada a sua ligação com o desenvolvimento histórico e social do país (CONCEIÇÃO, 1981).

Além da importância das raízes na alimentação humana, animal e na indústria de processamento (espessante, têxtil, detergentes biodegradáveis, farmacêutica) (Otsubo, 1999), suas folhas, ricas em proteínas, vitaminas, minerais e lisina, podem ser utilizadas na alimentação humana e animal (FIGUEIREDO & REGO 1973; GUERROUÉ et al., 1996). A produção nacional de mandioca em 1998 foi de 19,7 milhões de toneladas de raízes, obtida em uma área plantada em torno de 1,58 milhões de hectares, apresentando rendimento médio de 12,4 ton. ha⁻¹ (IBGE, 1998), produtividade bem inferior do seu potencial produtivo, que pode atingir até 60 t ha⁻¹ com o uso tecnologias adequadas (COCK, 1990).

Apesar de adaptada às condições ecológicas adversas e normalmente cultivada em áreas marginais de baixa fertilidade, onde outros cultivos mais exigentes pouco se desenvolvem (Correa, 1977), a mandioca necessita de níveis adequados de nutrientes para atingir seu potencial máximo de produção (FAGERIA et al., 1991). A ausência da adubação nitrogenada é considerada um dos fatores que tem limitado a produção de biomassa nas regiões tropicais (GREENWOOD et. al., 1991).

Na cultura da mandioca, o desenvolvimento da área foliar ocorre simultaneamente ao da parte economicamente útil das raízes. Nos cereais, o desenvolvimento da área foliar precede, no tempo, ao desenvolvimento e enchimento do grão, havendo, portanto, pouca competição pelo substrato fotossintético entre folhas e órgãos de armazenamento final (COCK, 1984). Em contraste, na mandioca, o substrato fotossintético é sujeito a uma partição mais ou menos contínua entre folhas e raízes. Isso significa que há um índice de área foliar ótimo para o crescimento radicular e, que se a partição favorece o crescimento foliar, haverá menos assimilado disponível para o crescimento das raízes. No caso inverso, uma redução de área foliar limitará a fotossíntese e a taxa de crescimento, a qual por sua vez, limitará o crescimento final. A manipulação desse balanço abre a possibilidade de obtenção de altos rendimentos em mandioca.

Se por um lado, maior absorção, assimilação e mobilização de N pode significar um acúmulo de proteína nos tecidos, por outro lado, pode favorecer um aumento nas taxas de expansão foliar, com o conseqüente prejuízo no desenvolvimento radicular.

Portanto, na cultura da mandioca percebe-se que o suprimento de nitrogênio pode afetar o equilíbrio funcional entre parte aérea e raiz, determinando a direção e a magnitude dos fluxos de compostos carbonados e nitrogenados em direção à raiz. Como aspecto particular dessa situação, surge a possibilidade de que os processos de acumulação de proteína nas raízes sejam alterados.

O trabalho foi desenvolvido com base na hipótese de que o suprimento de nitrogênio afetará a produção de matéria seca total e sua partição entre raiz e parte aérea e, de forma correlata, a distribuição das frações nitrogenadas indicativas do metabolismo de N na planta.

Sendo assim, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- a) Estudar, em condições de campo as respostas da cultura da mandioca à aplicação de fontes e níveis de adubos nitrogenados (nítrico ou amoniacal), em termos de produção de biomassa e sua partição entre raízes e parte aérea;
- b) Determinar em três épocas amostrais, os efeitos dessas fontes e níveis de N sobre a distribuição sazonal de nitrogênio em raízes e folhas; e
- c) Avaliar os efeitos de fontes e níveis de N sobre as concentrações das frações nitrogenadas e açúcares solúveis.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura da Mandioca

Originária do continente americano, provavelmente do Brasil Central, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) já era amplamente cultivada pelos aborígenes, por ocasião da descoberta do Brasil (NASSAR, 1978; LORENZI et al., 1993). Cock (1984) aponta a existência de um centro principal de diversidade no Brasil e um centro secundário na América Central. De acordo com Nassar (1978), o Brasil Central seria o centro principal de diversidade das espécies, pela idade antiga da região e por existirem nessa região, espécies com características mais primitivas como *M. stipulares*, *M. pumila*, *M. longepetiolata* com inflorescências dioicas e *M. stricta*, *M. purpureo-costata* e *M. salicifolia* com folhas sésseis não lobadas.

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertence à família Euforbiaceae, e ao gênero *Manihot*, sendo este gênero constituído por 98 espécies distribuídas em 19 seções, das quais 13 ocorrem no Brasil. É uma planta heliófila, perene e arbustiva. Suas folhas são decíduas, podendo durar de um a dois meses dependendo das condições climáticas e da variedade. É planta monoica, sendo que as flores masculinas aparecem na parte superior e as femininas na parte inferior da inflorescência (ROGERS et al., 1973).

A mandioca é cultivada em mais de 90 países em regiões tropicais (Conceição, 1987) entre os paralelos 30° de latitude Norte e Sul e em altitudes inferiores a 2.000 m (COCK, 1984). Constitui-se em uma das principais fontes de carboidratos nos trópicos, sendo a base da alimentação de cerca de 500 milhões de pessoas em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento (FAO, 1997). Os teores de carboidratos acumulados nas raízes são elevados, no entanto, os teores proteicos são baixos, na ordem de 0,59 a 2,34 g/ 100 g de matéria fresca (GUTIERREZ, 1980). De acordo com Yeoh & Chew (1976), as folhas de mandioca também são consumidas e constituem uma excelente fonte de suplemento proteico (proteína bruta na ordem de 21% a 39%), fazendo parte da dieta humana em muitos países africanos, bem como em algumas regiões do Brasil (LANCASTER & BROOKS, 1983).

Conforme dados da FAO (1999) a produção mundial de mandioca em 1998 foi de aproximadamente 164,0 milhões de toneladas, sendo que os principais continentes produtores em ordem crescente foram: África, Ásia e Américas os quais obtiveram as produções de 85,9, 46,4 e 27,4 milhões de toneladas de raiz de mandioca respectivamente. Dentre os países produtores de mandioca, destacam-se a Nigéria com o primeiro lugar (32,6 milhões toneladas), seguido do Brasil (19,5 milhões de toneladas), Congo (17,1 milhões de toneladas), Tailândia (15,6 milhões de toneladas) e Indonésia (14,7 milhões de toneladas).

Essa produção brasileira de 19,5 milhões de toneladas foi obtida em uma área plantada em torno de 1,6 milhões de hectares, apresentando rendimento médio de 12,4 toneladas por hectare.

Considerando-se o panorama nacional, os principais estados produtores são: Pará (3,5 milhões de toneladas), seguido pelo Paraná (3,1 milhões de toneladas), Bahia (2,8 milhões de toneladas) e Rio grande do Sul (1,3 milhões de toneladas) (IBGE, 1998).

A cultura da mandioca no Estado do Rio de Janeiro é uma atividade ligada principalmente a pequenos e médios produtores, sendo destinada ao consumo *in natura* ou comercializada na forma de farinha e polvilho (ANDRADE et al., 1999). A produção de mandioca no Estado do Rio de Janeiro em 1998 foi de 213,6 mil toneladas de raízes de mandioca numa área plantada de 13,3 mil hectares, obtendo uma produtividade média em torno de 16 t ha⁻¹ (IBGE, 1998).

2.2. Fatores Ambientais

Os fatores do meio ambiente que mais influenciam o crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca são: temperatura, fotoperíodo, precipitação, evapotranspiração e solos.

2.2.1. Temperatura e fotoperíodo

A temperatura afeta significativamente o crescimento e o desenvolvimento da cultura da mandioca. A brotação é uma fase extremadamente sensível a mudanças de temperatura, sendo que a produção de brotos é otimizada entre 28-30 °C e inibida entre 12-17 °C (COCK & ROSAS, 1975). O crescimento da parte aérea é maior em temperaturas em torno de 30-32 °C (COCK, 1984), sendo 35 °C, o limite superior, enquanto temperaturas inferiores ou iguais a 10 °C a cultura não se desenvolve, podendo ser considerada, como temperatura base (BARROS, 1976). Em áreas com grande variação sazonal de temperatura, a mandioca é cultivada somente quando a temperatura média anual é superior a 20 °C (COCK, 1985).

Quando as temperaturas são baixas, o desenvolvimento da área foliar torna-se mais lento devido a menor produção de folhas por ápice, e uma menor taxa de expansão foliar, o que resulta em folhas menores e com longos períodos de vida, de até 200 dias (IRIKURA et al., 1979). Por outro lado, as taxas de aparição e crescimento de novas folhas, e o enforquilhamento do caule, aumentam com a temperatura, até valores entorno de 28 °C. Como consequência dessas interações, o índice de área foliar (IAF), aumenta progressivamente, mas atinge um “plateau” a temperaturas médias ao redor de 24 °C (COCK, 1984).

Como a taxa de assimilação fotossintética de folhas individuais, muda pouco com a idade da folha e otimiza-se dentro de limites amplos de temperatura (20-40 °C), o aumento de temperatura média do ar ocasiona um aumento correlato da produção de matéria seca, até um ponto no qual a elevação da taxa respiratória foliar limita a taxa fotossintética líquida. Dessa forma, temperaturas elevadas por certo período, embora toleradas pela cultura, podem prejudicar a produção de raízes, ao limitar o crescimento da parte aérea (COCK, 1984).

A mandioca é cultivada em ampla faixa intertropical, entre as latitudes 30° norte e sul, com predomínio entre 15° norte e sul, provavelmente devido aos efeitos fotoperiódicos reduzirem a sua produtividade com o aumento da latitude (COCK & ROSAS, 1975).

Dados de Bolhuis (1966) verificaram que o fotoperíodo de 12 horas resultou em maior produção de raízes quando comparados com o número menor ou maior de luz, sendo assim uma planta de dia curto. De acordo com Irikura et al. (1979), sob condições naturais, as oscilações térmicas sazonais estão relacionadas a mudanças fotoperiódicas. O aumento de horas de luz nos meses de verão concorre para aumentar o número de ramificações e o índice de área foliar, reduzindo o índice de colheita.

Na região tropical, a temperatura do ar é controlada principalmente pelo balanço da radiação solar (DENNETT, 1984). Dentro de limites fisiologicamente compatíveis, a quantidade de matéria seca produzida é diretamente proporcional à quantidade de radiação solar incidente (JONES et al., 1993). Cock (1984) mostra dados indicando que a taxa de fotossíntese da variedade M Col 42 foi máxima em folhas com 20 dias de idade, com valor de cerca de 20 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ para uma irradiância de 500 μE m⁻²s⁻¹. Quando o nível de radiação fotossintética incidente foi dobrado, a taxa fotossintética teve um aumento de 25 %.

A redução da radiação recebida, por efeito de sombreamento, reduz tanto a taxa de crescimento da cultura como a produtividade final. Isso parece ser o resultado de um aumento na alongação do caule e do peso seco dos internódios, acompanhado de uma redução no tamanho da folha. Como consequência desses processos, a proporção de assimilados

exportados às raízes em crescimento é menor, resultando em reduções na produtividade final (COCK & ROSAS, 1975).

2.2.2. Precipitação e evapotranspiração

A mandioca é cultivada em regiões com os mais variados regimes pluviométricos, tanto em termos de precipitação total anual como de distribuição sazonal. A cultura pode ser cultivada em regiões com menos de 600-700 mm de chuvas anuais e, em tais ambientes, pode sobreviver a períodos secos de 5 ou 6 meses (COCK, 1984). Esta característica, pela qual é geralmente considerada como uma espécie relativamente tolerante à seca é resultado de um padrão conservador de uso de água (COCK & ROSAS, 1975). Seus estômatos são extremamente sensíveis a pequenos déficits em pressão de vapor de água. Essa alta sensibilidade permite conservar o teor de água foliar durante as horas do dia em que a evapotranspiração é alta, porém, reduz ao mesmo tempo a atividade fotossintética. A resposta heliotrópica das folhas compensa isto, até certo ponto, permitindo que a planta aumente a interceptação de luz e conseqüentemente a fotossíntese, durante as primeiras horas da manhã e no final da tarde, quando as taxas de evapotranspiração são baixas (COCK, 1984). O sistema radicular, esparso, também ajuda na redução da transpiração de planta. Dados de Connor et al. (1981) indicam que a mandioca possui raízes mais grossas que a maioria das espécies, porém muito curtas, o que significa baixos valores de densidade superficial de raízes.

Se a deficiência hídrica é prolongada, a planta ajusta o tamanho de sua área foliar por redução da sua taxa de crescimento ou mesmo abscisão de folhas maduras (COCK & ROSAS, 1975). Esse padrão de resposta ao estresse reduz as taxas de acumulação de biomassa durante os períodos de estresse hídrico. Como em muitas outras espécies estudadas, enquanto o estresse hídrico reduz a produção de matéria seca total, favorece proporcionalmente uma maior alocação da mesma nas raízes (CONNOR et al., 1981). Isto ocorre porque a translocação de assimilados, como processo fisiológico em si, é relativamente resistente à deficiência hídrica, situação ambiental a qual afeta muito mais a quantidade de assimilados produzidos nas folhas do que o seu transporte às raízes (BOYER, 1976). No caso da mandioca, as reservas radiculares de amido são mobilizadas no reinício das chuvas, dando origem a um novo ciclo de brotação de folhas (COCK & ROSAS, 1975).

Um excesso de água no solo, devido a precipitação abundante ou elevada frequência de irrigação, é prejudicial à produtividade, por alterar o balanço entre raiz e parte aérea em favor desta última. Quando o teor de água no solo é elevado, poderá deteriorar as raízes de reserva, diminuindo assim a sua qualidade e produção (COCK & ROSAS, 1975).

2.2.3. Solos

A mandioca cresce bem sobre solos de baixa fertilidade natural e ácidos, que limitam o crescimento da maioria das outras culturas tropicais (HOWELER, 1981). Como exemplo, a mandioca é cultivada em Oxisols na Colômbia, que apresentam acima de 60 % de saturação em alumínio (ABRUNA et al., 1982; COCK & HOWELER, 1978). Nesse tipo de solo, têm sido observadas respostas a baixos níveis de aplicação de calcário, porém, a supercalagem pode induzir deficiências de micronutrientes (FAGERIA et al., 1991).

De acordo com Howeler (1981), a mandioca pode crescer sobre solos de textura leves a médias, dentro de uma faixa de pH entre 3,5 a 7,8. Os maiores rendimentos, entretanto, são esperados sobre solos bem drenados, profundos, de textura leve, com valores de pH entre 5,5 a 7,0. De acordo com Fageria et al. (1991), em solos pesados, as raízes param o seu crescimento, tornando-se lenhosas, sem acúmulo de amido. A mandioca é mais susceptível do

que outras culturas alimentares à salinidade e alcalinidade do solo, embora exista grande diversidade varietal quanto à tolerância a esta limitante edáfica. Segundo Cock & Howeler (1978), de forma geral, há possibilidade de redução de rendimentos quando a saturação de sódio e a condutividade elétrica estiverem acima de 2-5 % e 0,5-0,7 d Sm⁻¹ respectivamente.

Em termos de tonelada de alimento produzido, a mandioca reduz a fertilidade do solo menos que o milho, cana-de-açúcar e banana, contudo, tomando o cultivo como base, a mandioca, extrai mais nutrientes que a maioria de outros cultivos tropicais (HONGSAPAN, 1962).

2.3. Nutrição Mineral da Mandioca

Devido a sua rusticidade, tolerância à seca e alta acidez no solo, a mandioca tem-se constituído em importante fonte alimentar para a subsistência das populações na faixa tropical e subtropical da Ásia, África e América Latina, onde tradicionalmente tem sido cultivada sem o uso de qualquer corretivo ou fertilizante. Por outro lado, é conhecido que a planta responde bem a fertilização e que para a obtenção de altos rendimentos é necessário o fornecimento de níveis adequados de nutrientes (FAGERIA et al., 1991).

Cock (1984) observou que sobre solos pobres, a mandioca mantém elevada concentração de nutrientes através da redução na área foliar. Num experimento ilustrativo desse mecanismo, este autor apresentou resultados de concentração e conteúdo de N, P e K em folhas e pecíolos, relacionados ao índice de área foliar da cultura, em três níveis de fertilidade, especificados como baixo, médio e alto. Os teores de N em folhas, expressos como percentagem de matéria seca ou como mg/dm² de área foliar, praticamente não mudaram quando passou do nível baixo para o nível alto que foi de 3,52 % e 3,69 % ou 21,7 e 18,9 mg N/dm² respectivamente. Embora o IAF de 1,65 e 5,39, nível baixo e alto respectivamente, tenha quase triplicado o que sugere uma considerável diluição do N alocado em folhas e pecíolos, em função do aumento em produção de folhas e expansão da lâmina foliar. Embora os dados de produtividade final não tenham sido indicados, é bem provável que a eficiência de uso do N para a produção de raízes tenha declinado com o aumento no nível de fertilidade do solo, uma resposta comum à adição desse nutriente na maioria das espécies estudadas (FERNANDES & ROSSIELLO, 1995).

No caso do P, embora este elemento seja normalmente o nutriente mais limitante ao rendimento nos solos tropicais, os elevados níveis de colonização micorrízica observados em mandioca cultivada nesses ambientes, permitem que a cultura preencha, em parte, a sua demanda pelo elemento em solos com baixos níveis de P disponíveis (HOWELER, 1981). (Howeler (1985) observou que a adubação fosfatada resultou em aumento significativo na produção de raízes com uma aplicação de 120 kg ha⁻¹, em função dos baixos teores do elemento no solo, por ocasião da aplicação do mesmo. Esses resultados estão de acordo com os dados de Gomez et al. (1980), que indicam ser o fósforo o maior responsável pelo aumento na produção de raízes. Edwards et al. (1977) mostraram em experimentos conduzidos em solução nutritiva, que a mandioca requer mais P do que outras espécies cultivadas, para a expressão de seu crescimento máximo nesse meio de cultura. Já as respostas ao K, são mais previsíveis, em função das grandes quantidades do elemento que a cultura extrai a cada ciclo cultural, e que pode causar a sua depleção, se o cultivo for realizado de forma contínua sem uma adequada reposição do elemento (HOWELER, 1985). Irizarry & Rivera (1983) estimaram que um cultivo de mandioca em solo podzólico em Puerto Rico, acumulou 222 kg k ha⁻¹, numa biomassa seca total de 23 ton. ha⁻¹. A extração de outros nutrientes foi de (kg ha⁻¹): N= 204; Ca= 86; Mg= 3 e P= 13. Howeler (1981) estimou uma remoção média, por tonelada de raízes, de 2,3 kg de N; 0,5 kg de P; 4,1 kg de K; 0,6 kg de Ca e 0,3 kg de Mg.

2.4. Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos elementos essenciais mais exigidos pelas culturas (FAQUIN, 1994). O N é componente importante das células vegetais, tendo funções metabólicas essenciais (HAK & NATR, 1987), sendo componente básico de proteínas, clorofila, enzimas, hormônios e vitaminas (CLARKSON & HANSON, 1980; HARPER, 1994).

As principais formas de N utilizadas pelas plantas são a nítrica (NO_3^-) e a amoniacal (NH_4^+), sendo que na maioria dos solos tropicais, a nítrica é a principal forma de aquisição de N pelas plantas (MARSCHNER, 1995).

O fornecimento de NH_4^+ como única fonte de N pode ser prejudicial às plantas, causando redução no acúmulo de matéria seca (BARBER & PIERZYNSKY, 1991).

Nos fertilizantes nitrogenados, o nitrogênio apresenta-se principalmente nas seguintes formas: nítrica (nitrato de cálcio, nitrato de potássio); amoniacal (sulfato de amônio) e amídica (uréia).

O sintoma característico de deficiência de N nas plantas é uma clorose que começa nas folhas mais velhas, uma vez que o elemento é móvel nos vasos condutores do floema. No início da clorose, as folhas jovens continuam verdes em consequência da redistribuição (FAQUIN, 1994).

Na cultura da mandioca, o N é o segundo elemento mais absorvido. Os sintomas de deficiência são sinalizados pelo amarelecimento das folhas inferiores, mas logo espalham-se por toda a planta, levando a uma clorose generalizada. As folhas ficam menores e geralmente seus lóbulos e pecíolos ficam mais curtos que as plantas normais (HOWELER, 1981).

2.5. Eficiência do Uso de Nitrogênio

O conceito de eficiência de uso de nutrientes é definido como a quantidade de rendimento (biomassa) produzida por unidade do elemento absorvido pela planta (GERLOFF, 1977; DUNCAN & BALIGAR, 1990). Como tal, expressa atributos fisiológicos da planta e independe da fonte do nutriente considerado, o que para o caso do N pode ser o nativo do solo, o adicionado como adubo ou o proveniente da fixação biológica (ROSSIELLO, 1987). Plantas com elevada eficiência intrínseca, possuem um baixo requerimento do nutriente e são capazes de produzir satisfatoriamente em solos com baixos níveis de disponibilidade do mesmo (BALIGAR & FAGERIA, 1997). De acordo com Gerloff (1977) e Blair (1993), isso não significa necessariamente ausência de resposta biológica em situações de aumento de disponibilidade do nutriente. Esses autores distinguiram quatro situações em termos de eficiência de uso: (i) plantas eficientes e responsivas: são aquelas que produzem altos rendimentos a baixos níveis de nutrientes e respondem a níveis superiores de aplicação; (ii) plantas ineficientes responsivas: plantas com baixos rendimentos a baixos níveis de nutrição e alta resposta ao nutriente adicionado; (iii) plantas eficientes e não responsivas: produzem altos rendimentos a baixos níveis de nutrientes e não respondem a níveis superiores de aplicação e (iv) plantas ineficientes e não responsivas: plantas com baixos rendimentos à baixos níveis de nutrição e ausência de resposta ao nutriente adicionado.

De acordo com Duncan & Baligar (1990), existe considerável variação inter e intraespecífica para esses grupos de eficiência de uso de nutrientes. Segundo Baligar & Fageria (1997), dentro de dada espécie, seriam interessantes cultivares dos grupos eficiente responsivo, porque eles produzem altos rendimentos a baixos e altos níveis do nutriente em questão, e eficientes não responsivos, devido a sua capacidade de produzir satisfatoriamente a baixos níveis do nutriente.

Comparada a outras culturas, a mandioca tem um baixo requerimento de N e, portanto, pode ser considerada como uma planta eficiente no uso desse nutriente. Tem sido observado que uma alta aplicação de N, pode conduzir a um excessivo crescimento da parte aérea, em prejuízo da síntese de amido e o engrossamento das raízes (HOWELER, 1981; FAGERIA et al., 1991).

Cock & Rosas (1975), avaliaram a resposta à aplicação de N em duas cultivares de mandioca, M Col 22 e Llanera, em experimentos conduzidos no CIAT, Colômbia, em áreas de alta e baixa fertilidade natural. No primeiro caso (alta fertilidade), M Col 22 mostrou produtividade superior à Llanera. Quando cultivadas em área de baixa fertilidade, houve uma reversão e a cultivar Llanera apresentou maior produtividade. A cultivar Llanera respondeu significativamente até 150 kg N ha^{-1} . A cultivar M Col 22, embora com um nível produtivo menor na dose de 30 kg N ha^{-1} ($\cong 19 \text{ ton. ha}^{-1}$), aumentou linearmente a sua produtividade até 240 kg N ha^{-1} . Dessa forma, parecem existir diferenças varietais em adaptação a níveis de fertilidade e, dependendo do nível de N aplicado, um dado genótipo pode comportar-se como eficiente responsivo ou não responsivo.

Já em outros experimentos, a ausência de resposta à aplicação de N parece caracterizar uma situação de uso não responsiva. Assim, Fidalski (1999), trabalhando com aplicação de NPK, no noroeste do Paraná, observou que a produção de raízes de mandioca não apresentou resposta a adubação nitrogenada e potássica, mas neste caso, os teores originais de K no solo seriam, segundo o autor, não limitantes à produtividade.

Dessa forma, a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado sofre influência de práticas de manejo. Segundo Howeler (1981), o melhor aproveitamento do N para a cultura da mandioca, em regiões com solos mais ácidos dos Llanos Orientais da Colômbia, tem sido observado quando o N é aplicado no plantio em uma única vez. Em solos lateríticos da Índia, Mandal et al. (1971), encontraram os melhores resultados quando metade do adubo foi aplicado no plantio e metade dois meses após o plantio. Assim, em cada região, a produção se processa de maneira peculiar quanto à aplicação de N.

2.6. Distribuição de Matéria Seca e Nitrogênio na Cultura da Mandioca

Dados de distribuição de matéria seca entre parte aérea (folhas, pecíolos, caules), raízes e, sua variação sazonal, durante o ciclo da cultura, são importantes para a avaliação do efeito de práticas de manejo (época de plantio, espaçamento, época de aplicação de adubos), assim como para a compreensão da dinâmica de formação do rendimento econômico das culturas (FISHER, 1984).

Não se tem encontrado respostas positivas à aplicação de altas doses de N no tocante à produção de massa seca de raízes de mandioca, quando no solo já exista alguma quantidade do nutriente. Howeler (1981), comparando os efeitos de formas e níveis de N, encontrou diferenças nos rendimentos que aumentaram até a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N, sendo que a uréia comum foi mais efetiva que a uréia com enxofre. De acordo com dados de Vidigal Filho (1981), diferenças não foram encontradas quando se analisou os efeitos de três formas de N (Uréia, Nitrocálcio e Sulfato de amônio), verificando que a cultura poderia ser adubada com qualquer uma dessas formas de adubo.

Howeler & Cadavid (1983) estudando o padrão de acumulação de matéria seca e nutrientes na cultivar M Col 22, durante um ciclo produtivo de 12 meses, observaram que a relação parte aérea/raiz (g g^{-1}) foi da ordem de 8,0 aos dois meses após o plantio, mas declinou rapidamente nos dois meses seguintes, com um valor de 1,2 aos 4 meses. De acordo com Cock (1984), o número de raízes que eventualmente engrossarão é determinado cedo, e aos 2-3 meses após plantio, o processo de engrossamento e deposição de grânulos de amido

no parênquima do xilema já é evidente nessas raízes. Entre 4 a 6 meses, a planta mostrou a sua mais alta taxa de crescimento ($8,0 \text{ g dia}^{-1}$), e a taxa de acúmulo de massa seca nas raízes foi, em média, 72 % da correspondente à planta inteira. Ao final do ciclo, a relação parte aérea/raiz foi de 0,39, e o índice de colheita de raízes de 0,72. Por outro lado, a relação entre o conteúdo de N (mg planta^{-1}) da parte aérea/raiz, foi inicialmente alta, devido a uma alocação preferencial do N em caule e folhas. Esses resultados foram obtidos em parcelas que tinham recebido, em kg ha^{-1} , 100 de N; 131 de P; 83 de K; 20 de S e 10 de Zn.

Segundo Fageria et al. (1991), a probabilidade de resposta à adubação nitrogenada decresce quando as folhas maduras superiores contém entre 50 a 60 g N kg^{-1} .

Tendências similares de resposta foram observadas por El-Sharkawy & Cock (1987) em experimento com adubação nitrogenada. Esses autores registraram, a partir da terceira semana após o plantio, diferenças entre os teores de N em folhas, caules e raízes, em benefício do tratamento que recebeu adubação nitrogenada. De um modo geral, os teores de N decresceram com a idade da cultura, sendo que a partir da sétima semana, observou-se menor teor de N por unidade de área foliar, no tratamento testemunha (sem aplicação de N).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área Experimental

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Itaguaí, da PESAGRO/RJ, localizada no km 7 da BR 465, no município de Seropédica (RJ), situado na latitude 22° 45'S, longitude 43° 41'W e altitude 33 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Aw, caracterizado por verão chuvoso e inverno seco.

Os dados climáticos registrados durante o período experimental (Tabela 1) foram obtidos junto ao Posto da Estação Experimental de Itaguaí, da PESAGRO/RJ, situado a cerca de 150 m da área experimental. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Previamente ao preparo do solo foram tomadas amostras para avaliação do nível de fertilidade do solo. Foi analisada uma amostra composta, a partir dez amostragens simples à profundidade de 0-20 e 20-40 cm. As amostras foram levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRRJ, tendo sido obtidos os resultados indicados na Tabela 2.

Tabela 1. Dados de umidade relativa, insolação, pluviosidade e temperatura (médias mensais) durante o ciclo de cultivo (maio de 1999 a julho de 2000).

Meses	Umidade Relativa (%)	Insolação (h mês ⁻¹)	Pluviosidade (mm)	Temperatura (°C)
Maio	61,0	189,2	21,3	20,7
Junho	70,0	156,3	27,2	19,7
Julho	64,7	175,5	21,2	20,2
Agosto	58,3	210,7	8,7	19,2
Setembro	57,7	166,3	71,1	21,7
Outubro	66,0	112,0	41,5	20,5
Novembro	63,7	156,7	129,3	21,9
Dezembro	65,7	193,5	96,3	24,6
Janeiro	64,3	205,3	253,7	25,7
Fevereiro	64,0	167,8	115,7	25,5
Março	63,0	158,4	95,4	24,5
Abril	67,5	230,3	13,1	23,8
Maio	63,3	222,1	34,7	21,7
Junho	61,0	234,5	2,0	21,3
Julho	66,7	171,8	74,0	20,2

Fonte: Estação Climatológica de Itaguaí. PESAGRO/Rio

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental⁽¹⁾.

Prof cm	pH H ₂ O	Al	Ca	Mg	Na	H+Al	P	K	C. Org	
		-----		cmolc kg ⁻¹	-----		----	mg kg ⁻¹	---	- g kg ⁻¹
0-20	6,20	0,00	2,50	0,80	0,02	1,98	40	116	18,0	
20-40	6,30	0,00	2,80	0,90	0,03	1,98	110	56	20,0	

⁽¹⁾ Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, Depto Solos da UFRRJ em maio de 1999.

3.2. Condução do Experimento

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 15 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de N (0, 60, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹) e três fontes de N: sulfato de amônio (20% de N e 24% de S); nitrocálcio (27% de N, 7% de CaO e 3% de MgO) e uréia (45% de N). Cada parcela, com 64,0 m², foi formada por 12 linhas (incluindo as bordaduras) de 5 m de comprimento cada, com 7 plantas por linha, no espaçamento de 0,5 m entre plantas e 1,0 m entre linhas. Cada parcela foi dividida em cinco subparcelas correspondentes aos níveis de N aplicados.

O preparo do solo constituiu de uma aração na profundidade de 20 cm, realizada no mês de maio de 1999, seguida de uma gradagem niveladora, com posterior sulcamento do solo a 10 cm de profundidade com 1,0 m de distância entre os sulcos. Os mesmos apresentaram 20,0 m de comprimento.

Neste experimento, utilizou-se a cultivar Saracura, usada como mandioca de mesa, proveniente da região produtora de Santa Cruz/RJ. As manivas utilizadas no plantio foram retiradas do terço médio de plantas maduras e sadias com idade aproximada de 12 meses. As manivas foram cortadas com 0,20 m de comprimento e aproximadamente 0,02 m de diâmetro e com cinco gemas axilares. O corte das mesmas foi realizado com facão, formando um ângulo reto em ambas as extremidades. O corte em ângulo reto propicia melhor distribuição das raízes na maniva quando esta estiver enraizando.

A área experimental foi adubada com os adubos nitrogenados em estudo (Ureia, Sulfato de Amônio e Nitrocálcio), os quais foram parcelados, sendo metade aplicada por ocasião do plantio e a outra metade, aos nove meses após o plantio. A primeira parcela foi aplicada manualmente no fundo do sulco, misturado à terra, a uma profundidade de 0,01 m e, a metade restante aplicada a lanço, na projeção do diâmetro da copa.

Após a adubação, realizou-se o plantio em 28/05/1999, colocando-se manivas manualmente no fundo do sulco, na posição horizontal a cada 0,50 m e, cobertas com aproximadamente 0,05 m de solo.

Para o controle das plantas daninhas, realizou-se durante os quatro primeiros meses de cultivo seis capinas manuais.

A maior necessidade de uso de água pela cultura reside nos quatro primeiros meses após o plantio, sendo que após esse período a cultura suporta considerável déficit de água (OLIVEIRA, 1982). Assim, de acordo com os dados da Tabela 2, verificou-se uma má distribuição de chuvas durante a fase inicial de brotamento. Para controlar tal déficit, realizou-se uma irrigação por aspersão aos três meses após o plantio.

3.3. Coleta e Parâmetros Avaliados

Durante o período experimental foram feitas três coletas, sendo a primeira aos sete meses após o plantio (19/12/1999); a segunda, onze meses após o plantio (25/04/2000) e a terceira, aos treze meses após o plantio (07/06/2000). A cada coleta realizou-se amostragem de uma planta por subparcela, para analisar a produção de massa fresca e massa seca; teores de N; N-NO₃⁻, N-amino e açúcares solúveis.

As plantas de mandioca foram arrancadas com uma enxada e levadas imediatamente ao laboratório, separando-se raízes, caule e folhas. Após a separação, as raízes foram lavadas para retirada de terra e secas em papel toalha. Após essa etapa, cada parte considerada da planta foi pesada, cortada em pedaços e homogeneizada. Um grama desse material foi acondicionado em vidro âmbar, com 20 mL de etanol (80%) para extração de NO₃⁻, N-amino e açúcares solúveis (FERNANDES, 1974). O material restante foi seco em estufa de

circulação de ar a 60° C por 72 horas. O material seco foi pesado e em seguida, moído em moinho (tipo Wiley, 40 mesh) e uma alíquota de 0,2 g foi retirada para análise de N.

3.3.1. Determinação dos constituintes do extrato etanólico

Amostras de um grama de tecido fresco armazenadas em etanol (80%) foram trituradas em almofariz, filtradas em papel de filtro e gaze. Esse filtrado foi transferido para funil de separação onde foi adicionado volume igual de clorofórmio, agitado e deixado em repouso por 40 minutos para a completa separação. Após a separação, a fração polar foi recolhida, completada a 25 mL com etanol (80%) e guardada em geladeira para posterior realizações analíticas N-NO₃⁻, N-amino e açúcares solúveis.

Análises de N-NO₃⁻, N-amino e açúcares solúveis - a determinação do nitrato foi feita pelo método colorimétrico descrito por Cataldo et al. (1975) e a leitura em espectrofotômetro a 410 nm.

Os aminoácidos livres foram determinados colorimetricamente segundo o método da ninidrina descrito por Yemm et al. (1955) e, a leitura feita em espectrofotômetro a 570 nm. Os açúcares solúveis foram determinados colorimetricamente segundo o método da antrona descrito por de Yemm & Willis (1954) e, a leitura feita em espectrofotômetro a 620 nm.

3.3.2. Análise de massa seca e N-total

Após a secagem das amostras da parte aérea e raiz, as mesmas foram pesadas obtendo-se a massa seca. Após determinação da massa seca, as amostras foram trituradas em moinho (tipo Wiley, 40 mesh) obtendo uma massa homogênea, adequada para as análises. Amostras de 0,2 g foram digeridas em ácido sulfúrico e água oxigenada. Após a destilação e titulação, obteve-se o N-Kjeldahl, obtido através do método descrito por TEDESCO (1995). O teor de proteína bruta em raízes e folhas foi obtido multiplicando-se o teor de nitrogênio das amostras acima citadas pelo fator de conversão 3,24 segundo o método descrito por YEOH & TRUONG (1996).

3.4. Análises Estatísticas

Para efeitos de análises estatísticas, os dados foram analisados num esquema de parcelas subdivididas, avaliando-se os níveis de significação dos efeitos principais (formas de N) e dos secundários (níveis), desdobrando-se as suas interações, quando as mesmas resultaram significativas pelo teste F. Diferenças entre médias foram discriminadas pelo teste de Duncan, ao nível $p \leq 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições Climáticas Durante o Experimento

Previamente à avaliação dos resultados, torna-se necessária uma referência à evolução das condições ambientais durante o período experimental, especialmente as ligadas em maior grau ao crescimento e desenvolvimento físico da cultura. Na Tabela 2, estão indicadas as médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar, assim como de insolação acumulada e precipitação total no período. A precipitação total no período de maio/99-julho/2000 foi 1010 mm, um valor quase 20% menor que o correspondente à somatória dos valores médios mensais para o período 1988-1998. O período normal de baixa precipitação, entre os meses de maio e agosto, resultou particularmente seco nos meses de julho e agosto. A precipitação esteve abaixo das normais nos meses de outubro e dezembro, com período de deficiência hídrica severa entre os 10-13 meses de cultivo (abril-julho 2000). Em oposição, durante o mês de janeiro/2000 ocorreu uma alta precipitação total (253,7 mm), de baixa probabilidade por estar bem acima da média mensal da década anterior (177 mm), sendo que nos três primeiros dias do mês ocorreu uma precipitação acumulada de 185 mm (73% da chuva mensal total), e em um único dia registrou-se chuva de 190,2 mm. Chuvas de intensidade forte como essas, podem ter efeitos significativos sobre a dinâmica dos adubos no solo.

Além da disponibilidade hídrica, a temperatura é outro importante fator, especialmente crítico na fase de brotação da cultura da mandioca, a qual é totalmente inibida ou fortemente retardada abaixo de 17 °C (COCK & ROSAS, 1975). Os registros diários de temperatura do ar mostraram a ocorrência, nos dois meses subsequentes ao plantio, de uma alta frequência de dias com temperaturas mínimas ou médias abaixo ou no limite da temperatura base de brotação, o que demonstra o atraso observado nesse processo, já que, as primeiras brotações apareceram trinta dias após o plantio.

4.2. Efeito da Adubação Nitrogenada Sobre a Cultura da Mandioca aos Sete Meses Após o Plantio

4.2.1. Produção de biomassa

Antes de considerar a significação dos resultados da primeira amostragem, aos sete meses, deve ser observado que os mesmos refletem os efeitos da aplicação da metade da dose total de N, já que o restante foi aplicado aos 9 meses após o plantio. Por esta razão, as doses de N constantes nas tabelas e figuras a seguir referem-se a metade das doses totais aplicadas durante o ciclo total, uma vez que elas foram as responsáveis pelos efeitos observados até esta primeira amostragem.

Os dados correspondentes à biomassa seca da parte aérea (folha e caule) e raízes, em função da fonte de N aplicada, encontram-se na Tabela 3. Observa-se que a uréia promoveu uma produção maior de massa seca total em relação ao Nitrocálcio, principalmente devido a uma maior produção de raízes (+ 83 %) e caule (+55%), embora essas diferenças não atinjam significação estatística, em função dos altos coeficientes de variação entre repetições. O efeito médio, entre doses, do sulfato de amônio, em termos de produção de massa seca total foi intermediário.

Tabela 3. Matéria seca de raiz, folha, caule e matéria seca total de plantas de mandioca, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados aos sete meses após o plantio.

Fonte	Raiz	Folha	Caule	Total
	----- g planta ⁻¹ -----			
Uréia	209 a	99 a	163 a	471 a
Sulfato de Amônio	199 a	75 a	118 b	392 ab
Nitrocálcio	114 a	74 a	105 b	293 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

De acordo com esses dados, pode-se inferir sobre dois pontos: primeiro que o N absorvido e utilizado pela cultura a partir dessas fontes, nos primeiros sete meses, parece ter modificado, de alguma maneira, as taxas de crescimento dos órgãos vegetativos, de forma que as relações raiz/parte aérea foram 0,80; 1,03 e 0,64 para Uréia, Sulfato de Amônio e Nitrocálcio, respectivamente. Segundo, que esses efeitos médios sobre a partição da matéria seca total, promovendo em maior ou menor grau a produção de biomassa radicular, ocorreram a igualdade de massa foliar entre as fontes de N (Tabela 3).

Por outro lado, as fontes e doses de N não interagiram na produção de massa seca foliar. O efeito das doses de N sobre este parâmetro foi significativo apenas no contraste entre o nível zero e os demais (Tabela 4), embora o maior nível de N aplicado causasse pequena redução, justificando assim, o tipo de resposta quadrática ($R^2 = 0,974$) (Figura 1).

Portanto, uma vez que fontes e doses de N, não exerceram grande influência sobre a massa seca de folhas, as variações nas relações raiz/parte aérea associadas as fontes de N, poderiam ser melhor explicadas por diferenças em área foliar total por planta. Embora planejado, houve dificuldades para a obtenção de estimativas precisas de área foliar, o que não permite validar esta última hipótese.

Tabela 4. Matéria seca de raiz, folha, caule e matéria seca total de mandioca aos sete meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Raiz	Folha	Caule	Total
	----- g pl ⁻¹ -----			
0	110 b	49 b	83 b	242 b
30	206 a	96 a	131 a	433 a
60	164 a	101 a	126 a	391 a
80	151 a	92 a	142 a	385 a
100	239 a	77 ab	161 a	477 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

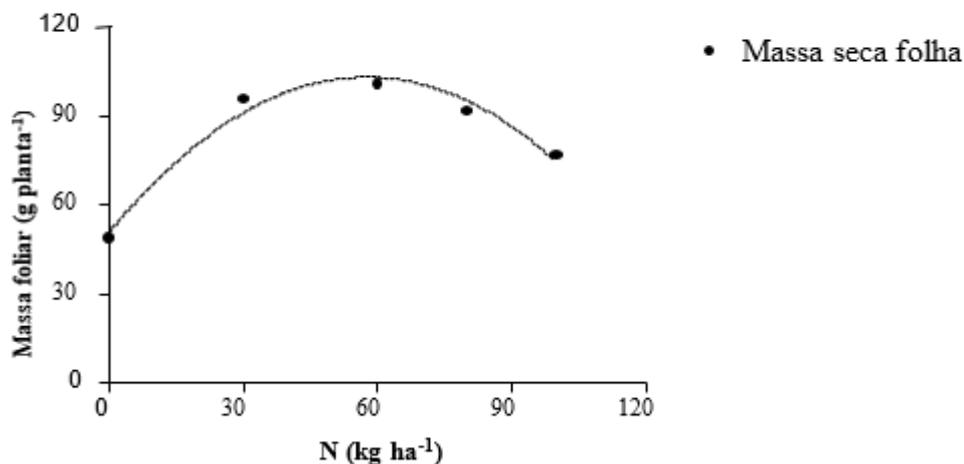


Figura 1. Efeito de doses de nitrogênio sobre a produção de massa seca foliar aos sete meses após o plantio. ($R^2 = 0,9737$).

A análise dos dados de biomassa revelou interação significativa entre fontes e doses de N para produção de matéria seca total e de raízes. Os dados da Figura 2 ilustram esta interação para a produção da biomassa radicular. Embora exista um padrão definido de resposta polinomial cúbica ($R^2 = 0,976$; $0,949$ e $0,839$ para uréia, nitrocálcio e sulfato de amônio respectivamente), deve ser observado que cada valor médio nesses gráficos foi acompanhado, em geral, de um grande desvio padrão, de forma que a única diferença possível de ser confirmada estatisticamente (Duncan, $p \leq 0,05$) é aquela verificada em 100 kg N ha^{-1} , onde a uréia foi superior às outras duas fontes de N, mas mesmo assim deve ser tomado com muita cautela, por envolver um aumento muito brusco (e inesperado) em resposta a um incremento marginal de dose.

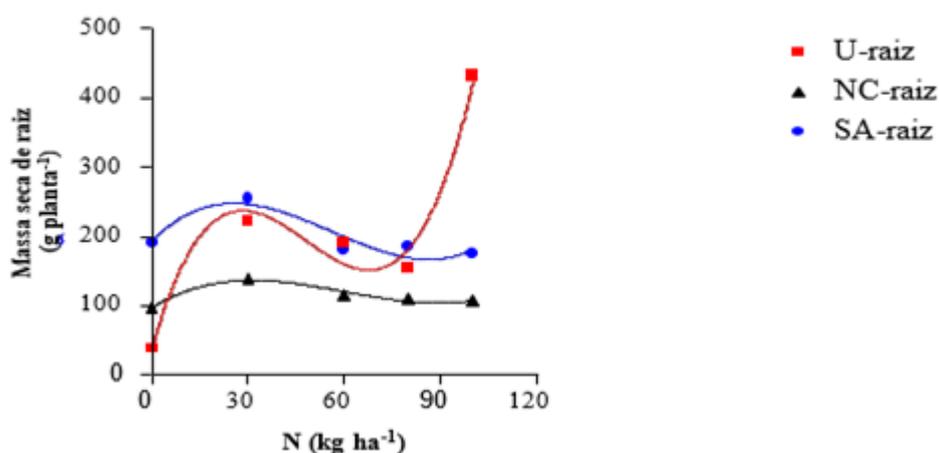


Figura 2. Efeito de fontes e doses de N sobre a produção de massa seca de raiz de mandioca aos sete meses após o plantio. (U=Ureia; NC=Nitrocálcio; SA= Sulfato de amônio).

4.2.2. Teor e acúmulo de N na biomassa

Dados do teor de N e proteína em raízes e folhas de mandioca são apresentados na Tabela 5.

O teor de N em raízes adubadas com uréia foi menor em relação ao sulfato de amônio e nitrocálcio, tendo os dois últimos tratamentos apresentado teores, aproximadamente, 1,5 vez maior que o primeiro. Para o teor de N em folhas, o tratamento com sulfato de amônio apresentou valor superior aos demais. Entretanto, independente das fontes de adubos, observa-se que o teor foliar de N foi praticamente sete vezes superior ao N da raiz. Esses dados mostram a grande variabilidade existente em relação à distribuição de nitrogênio na planta e a clara predominância do elemento nas folhas, resultando, assim, em alto teor proteico nesses órgãos, pois, enquanto o teor de proteína na raiz foi da ordem de 1,4%, o teor na folha encontrava em torno de 9,3%.

Os teores foliares de nitrogênio observados, estão abaixo do nível considerado crítico por Howeler (1981), assim como, por outros autores que fizeram avaliações imediatamente ou pouco tempo após a aplicação de N, quando o poder de absorção do sistema radicular está maximizado (Fageria et al. 1991), o que não corresponde ao presente caso, onde a avaliação foi feita aos sete meses após o plantio. Por outro lado, as avaliações constantes na literatura foram feitas, via de regra, no meio ou após o período de verão, com condições favoráveis de radiação solar, temperatura e possivelmente em condições de ausência de estresse hídrico. Essas condições não se aplicam ao presente caso, onde a ocorrência de um período frio e seco, junto aos baixos níveis de radiação solar (Tabela 1) durante a fase inicial de crescimento (junho - setembro) devem ter prejudicado a capacidade de absorção do sistema radicular.

Por outro lado, é provável que essas condições ambientais possam ter determinado disponibilidades variadas de NH_4^+ e NO_3^- no solo, em cada uma das fontes de N, através de redução na taxa de nitrificação do sulfato de amônio, ou da hidrólise da uréia, ou ainda de um maior tempo de permanência do nitrato do nitrocálcio na camada superior do solo, em função das baixas temperaturas e ausência de chuvas significativas no período. Como consequência, é provável que as plantas estivessem absorvendo, em cada um dos tratamentos, proporções variadas de NH_4^+ / NO_3^- oriundas dos fertilizantes e do solo. Na ausência de um estudo específico, não é possível determinar se esse padrão de nutrição nitrogenada teve alguma influência concreta sobre os teores de N total e das frações nitrogenadas solúveis observados nas plantas nesta primeira amostragem.

Estudos com outras espécies cultivadas indicam que em geral, a absorção conjunta de NH_4^+ e NO_3^- , em proporções definidas, é mais benéfica do que a nutrição exclusivamente nítrica ou amoniacal (FERNANDES & ROSSIELLO, 1995), por propiciar condições metabólicas mais favoráveis ao crescimento da planta.

Tabela 5. Teor de N e % de proteína em raiz e folha de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fontes	N	Proteína bruta	N	Proteína bruta
	raiz	raiz	folha	folha
	(mg g ⁻¹)	(%)	(mg g ⁻¹)	(%)
Uréia	3,87 b	1,25 b	27,35 b	8,86 b
Sulfato de Amônio	4,41 a	1,43 a	31,26 a	10,26 a
Nitrocálcio	4,70 a	1,52 a	27,50 b	8,91 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

O conteúdo total de N, não sofreu variações significativas entre os tratamentos (Tabela 6). Ao considerar a relação entre a biomassa de folhas e raízes produzida (Tabela 3), em relação ao N acumulado em cada uma dessas frações vegetativas (Tabela 6), pode ser deduzido que todas as fontes tiveram eficiência de uso de N similares, tanto para produção de raízes como de folhas (Tabela 7).

Tabela 6. Conteúdo de nitrogênio nas raízes e folhas de mandioca aos sete meses após plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte	Raiz	Folha
	----- mg pl ⁻¹ -----	
Ureia	857 a	2780 a
Sulfato de Amônio	868 a	2311 a
Nitrocálcio	543 a	2004 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Tabela 7. Eficiência de uso de N para produção de biomassa em folhas e raízes de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fontes	Massa seca	N	g MS/mg N	Massa	N	g MS/mg N
	raiz	raiz	(raiz)	seca folha	folha	(folha)
	(g pl ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(g MS/mgN)	(g pl ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(g MS/mg N)
Uréia	209 a	857 a	0,244 a	99 a	2780 a	0,036 a
Sulfato de Amônio	199 a	868 a	0,229 a	75 a	2311 a	0,032 a
Nitrocálcio	114 a	543 a	0,210 a	74 a	2004 a	0,037 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Os dados correspondentes aos teores de N e proteína nas raízes e folhas, em função das doses de adubo nitrogenado são apresentados na Tabela 8. Os teores de N e % de proteína em raiz estão na faixa de 3,8-4,8 e 1,26-1,55 respectivamente e, praticamente não se mostraram dependentes da dose até 100 kg N ha⁻¹, onde houve uma pequena redução.

De acordo com os dados da Tabela 8, a aplicação de 30 kg N ha⁻¹ foi suficiente para aumentar o teor foliar do elemento em 11 % em relação à testemunha. Quando se adicionou N até 80 kg ha⁻¹, houve redução significativa desse teor, nivelando à testemunha dentro dessa faixa. Em contrapartida, nas raízes, houve uma leve tendência ao aumento (0,06 %), o que sugere pequena redistribuição do N absorvido em favor das raízes.

Finalmente, a maior dose aplicada de N aumentou ligeiramente o teor desse nutriente nas folhas (+ 0,13 %), porém, o mesmo não ocorreu para as raízes (- 0,08 %). É de interesse verificar que essas pequenas flutuações nos teores de N nas raízes, até o nível de 80 kg N ha⁻¹, não foram motivadas por variações significativas de biomassa radicular entre fontes de N (Figura 2). Já a redução do teor de N na maior dose de aplicação (100 kg N ha⁻¹) (Tabela 8), parece resultar de um efeito de diluição, em função da resposta observada à aplicação de uréia nessa dose (Figura 2).

Os teores relativamente baixos de N observados na biomassa de folhas e raízes podem ser devido a um conjunto de fatores: primeiro, deve ter existido alguma redução na disponibilidade de N no solo, no período de sete meses entre o plantio e a amostragem; segundo, podem resultar de um efeito varietal, nesse caso indicativo de uma baixa ou média eficiência intrínseca de absorção de N. Nas condições de solos lateríticos da Indonésia, as

raízes acumularam N somente até os oito meses, mantendo seu teor constante posteriormente (HOWELER, 1981).

Howeler & Cadavid (1983), trabalhando em oxissolos da Colômbia, verificaram que, em resposta à aplicação de 100 kg N ha⁻¹, o teor de N nas raízes estabilizou-se entre 6-10 meses após o plantio, com valores entorno de 0,9-1%, reduzindo-se após esse período. Esses resultados sugerem que as taxas máximas de absorção, assimilação e redistribuição do N ocorrem durante os primeiros 4-5 meses do ciclo de crescimento da cultura da mandioca, sob condições normais de crescimento, enquanto que o máximo de acúmulo de matéria seca ocorre após os seis meses de plantio.

No presente caso, pelas razões expostas, os teores máximos de absorção e remobilização de N poderiam ter sofrido algum atraso. A análise dos dados das amostragens realizadas aos 11 e 13 meses após o plantio, mostrou que o teor de N em raízes estabilizou ou declinou, independente da aplicação suplementar de N aos 9 meses após o plantio.

Tabela 8. Teor de N e proteína bruta em raízes e folhas de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (Kg ha ⁻¹)	N	Proteína bruta	N	Proteína bruta
	raiz	raiz	folha	folha
	(mg g ⁻¹)	(%)	(mg g ⁻¹)	(%)
0	4,00 ab	1,29 ab	28,15 b	9,12 b
30	4,24 ab	1,37 ab	31,00 a	10,04 a
60	4,80 a	1,55 a	27,51 b	8,91 b
80	4,72 a	1,53 a	27,78 b	9,00 b
100	3,88 b	1,26 b	29,07 ab	9,42 ab

Médias seguidas por letras comuns, dentro da coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

4.2.3. Teor de N-amino e N-nitrato

Nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 são apresentados os teores de N-amino e N-nitrato em folhas e raízes, em função de fontes e doses de adubos nitrogenados respectivamente.

Com relação aos teores de N-amino em folhas, as três fontes de N afetaram diferencialmente esses teores (Tabela 9). Pela Tabela 11, verificou-se que o teor de N-amino em raízes foi significativamente menor quando associado ao uso da uréia. Os valores de N-amino observados, tanto em folhas como em raízes, são da mesma ordem que os registrados em outras espécies cultivadas sob uma ampla faixa de condições ambientais (Fernandes & Rossiello, 1995) e, não são indicativos de nenhuma disfunção ou desbalanço metabólico induzido pela absorção em excesso de uma ou outra forma de N. Especificamente, a possibilidade de que uma nutrição predominantemente amoniacal aumentasse os teores de N-amino em relação a uma predominantemente nítrica (Magalhães & Wilcox, 1983), não se verificou no presente trabalho. As doses de N resultaram independentes das fontes quanto aos seus efeitos sobre esta fração do N-solúvel (interação não significativa) e, pouco afetaram os teores nas folhas (Tabela 10) e raízes (Tabela 12).

Os teores de NO₃⁻ observados foram baixos tanto em folhas como em raízes e, não foram afetados por fontes ou doses de N (Tabelas 9-12), exceção feita para o pequeno acúmulo observado nas raízes ao nível de 30 kg N ha⁻¹ (Tabela 12). Por outro lado, o teor foliar de NO₃⁻ foi, em média, 14 vezes maior que o teor nas raízes, o que indica que a assimilação de nitrato é realizada preferencialmente na parte aérea. Howeler (1981), concluiu a partir de resultados de vários experimentos em solução nutritiva, que uma nutrição adequada

demandaria uma concentração de N-NH_4^+ na solução $>120 \mu\text{M}$, ao passo que com N-NO_3^- a mesma deveria ser $> 2500 \mu\text{M}$. Isto significa que o requerimento externo (concentração correspondente a 95 % da produção máxima) de N-NO_3^- é quase 10 vezes maior que o requerimento de N-NH_4^+ , o que indica, que a planta poderia preferir fontes amoniacais de N e que não acumula N-NO_3^- nos seus tecidos, nem mesmo na presença de altos níveis de nitrocálcio como fonte externa de N.

Tabela 9. Teores de N-amino e N-NO_3^- em folhas de mandioca, aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte de N	N-amino	N-NO_3^-
	----- $\mu\text{mol g}^{-1}$ pf. -----	----- $\mu\text{g g}^{-1}$ pf. -----
Ureia	13,8 b	0,158 a
Sulfato de Amônio	11,8 c	0,117 a
Nitrocálcio	16,2 a	0,162 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Tabela 10. Teores de N-amino e N-NO_3^- em folhas de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose N (kg ha^{-1})	N-amino	N-NO_3^-
	----- $\mu\text{mol g}^{-1}$ pf. -----	----- $\mu\text{g g}^{-1}$ pf. -----
0	10,2 b	0,159 a
30	15,9 a	0,162 a
60	14,6 a	10,152 a
80	14,8 a	0,133 a
100	14,3 a	0,116 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Tabela 11. Teor de N-amino e N-NO_3^- em raízes de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte de N	N-amino	N-NO_3^-
	----- $\mu\text{mol g}^{-1}$ pf. -----	----- $\mu\text{g g}^{-1}$ pf. -----
Ureia	9,6 b	0,016 a
Sulfato de Amônio	13,7 a	0,008 a
Nitrocálcio	13,7 a	0,007 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Tabela 12. Teor de N-amino e N-NO₃⁻ em raízes de mandioca aos sete meses após plantio, sob diferentes níveis de adubos nitrogenados.

Dose N (kg ha ⁻¹)	N-amino	N-NO ₃ ⁻
	----- μmol g ⁻¹ pf. -----	----- μg g ⁻¹ pf. -----
0	11,12 a	0,004 b
30	11,75 a	0,035 a
60	14,10 a	0,010 b
80	12,12 a	0,002 b
100	12,57 a	0,002 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

4.2.4. Teor de açúcares solúveis

Os teores de açúcares solúveis presentes em folhas e raízes em função da fonte e dose de adubos nitrogenados, são mostrados nas Tabelas 13 e 14 respectivamente. De acordo com a Tabela 13, não houve diferença estatística para os teores de açúcares solúveis em folhas e raízes quando utilizou-se diferentes fontes de N. Por outro lado, as doses de N determinaram pequenas oscilações nos teores de açúcares solúveis (Tabela 14), que no entanto, não mostraram relação discernível com parâmetros de produção de massa seca.

Tabela 13. Teor de açúcares solúveis em folhas e raízes de mandioca aos sete meses após o plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte	Raiz	Folha
	----- mg g ⁻¹ -----	----- mg g ⁻¹ -----
Uréia	20,8 a	16,9 a
Sulfato de Amônio	20,0 a	21,3 a
Nitrocálcio	21,1 a	20,3 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Tabela 14. Teor de açúcares solúveis em folhas e raízes de mandioca aos sete meses após o plantio sob diferentes níveis de adubos nitrogenados.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Raiz	Folha
	----- mg g ⁻¹ -----	----- mg g ⁻¹ -----
0	22,7 a	15,4 b
30	19,2 b	23,6 a
60	19,7 ab	18,8 b
80	18,7 b	22,8 a
100	22,8 a	17,1 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

4.3. Efeito da Adubação Nitrogenada sobre a Cultura da Mandioca aos Onze Meses Após o Plantio

4.3.1. Produção de biomassa

Previamente à consideração dos dados, deve ser observado que aos nove meses após o plantio, foi feita a aplicação da metade restante dos adubos nitrogenados, completando-se, assim as duas aplicações de N previamente planejadas. Essa aplicação em Fevereiro de 2000, ocorreu após um período favorável para o crescimento da cultura, em função das precipitações ocorridas em janeiro, associada a uma elevação natural da temperatura do ar e dos níveis de radiação solar. Os dados relativos à produção de biomassa acumulada pela cultura, até os onze meses após o plantio (abril/2000), encontram-se nas Tabelas 15 e 16.

Na tabela 15 são apresentados dados de massa seca de raiz, folha, caule, índice de colheita e relação raiz/parte aérea de mandioca em função das fontes de adubos nitrogenados. O primeiro efeito da interação entre esta “nova” aplicação de N e o quadro ambiental favorável, foi um efeito diferenciado das fontes sobre a partição da biomassa total acumulada. Assim, a aplicação de uréia contribui com maior produção de massa seca de folhas (+66%) e caule (+69%), em relação ao sulfato de amônio e nitrocálcio; enquanto essas duas últimas fontes apresentaram rendimento de massa seca de raiz superior à ureia em torno de 52,7% e 29% respectivamente. A aplicação de ureia favoreceu em maior grau a acumulação de massa seca de folhas e caule, em detrimento das raízes, (relação raiz/parte aérea de 0,77:1 e índice de colheita 43%).

No outro extremo, o nitrocálcio favoreceu um acúmulo de massa seca nas raízes apresentando relação raiz/parte aérea de 2,04:1 e índice de colheita 67%. Nesse sentido, o sulfato de amônio teve um efeito ligeiramente menor, mas na mesma direção do nitrocálcio com relação raiz/parte aérea de 1,66:1 e índice de colheita de 62%. O índice de colheita é a relação entre o peso de raízes e o peso total da planta, sendo considerado adequado estando acima de 60% (CONCEIÇÃO, 1983). Observa-se que para a massa seca de caule, apesar da amplitude entre os valores, não houve diferença significativa, o que ressalta o alto efeito do coeficiente de variação amostral.

Tabela 15. Matéria seca de raiz, folha, caule, matéria seca total, índice de colheita (IC) e relação raiz/parte aérea de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte de N	Raiz	Folha	Caule	Total	IC	Relação raiz: parte aérea
	----- g pl ⁻¹ -----				%	
Uréia	326 a	95,8 a	326 a	748 a	43	0,77
Sulfato de Amônio	423 a	57,5 b	198 a	679 a	62	1,66
Nitrocálcio	498 a	57,2 b	187 a	742 a	67	2,04

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Na tabela 16, são apresentados dados de matéria seca de raiz, folha, caule, matéria seca total, índice de colheita e relação raiz/parte aérea de plantas de mandioca em função de doses de adubos nitrogenados. De acordo com esses dados, observou-se que não houve diferença significativa de doses para todos os parâmetros avaliados, embora as doses de 60 e 160 kg N ha⁻¹, destacaram-se pelo seu índice de colheita em torno de 60%.

Tabela 16. Matéria seca de raiz, folha, caule, matéria seca total, índice de colheita (IC) e relação raiz/parte aérea de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Raiz	Folha	Caule	Total	IC	Relação raiz: parte aérea
	----- mg pl ⁻¹ -----				%	
0	293 a	50,88 a	214 a	558 a	52	1,10
60	549 a	84,36 a	276 a	910 a	60	1,52
120	384 a	73,35 a	248 a	706 a	54	1,19
160	444 a	66,71 a	209 a	720 a	61	1,60
200	409 a	75,50 a	236 a	721 a	56	1,30

Médias seguidas por letras comuns dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

4.3.2. Teor e acúmulo de N na biomassa

Os teores e conteúdo de N nas raízes e folhas, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados são observados na Tabela 17. Efeito significativo do tratamento com ureia foi observado para o teor de N na raiz, sendo esse teor, ligeiramente superior aos tratamentos com sulfato de amônio e nitrocálcio. Quanto ao conteúdo de N total na massa radicular, não houve diferenças significativas. Os teores foliares de N correspondentes à aplicação de uréia resultaram relativamente elevados, levando-se em consideração a elevada produção de biomassa foliar com o uso dessa fonte. Por outro lado, praticamente à igualdade de massa foliar produzida (Tabela 15), o nitrocálcio teve um teor significativamente superior de N foliar do que sulfato de amônio (Tabelas 17).

Tabela 17. Teor e conteúdo de N em raiz e folha de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte	Teor de N raiz	Conteúdo de N raiz	Teor de N folha	Conteúdo de N folha
	-- mg g ⁻¹ --	-- mg pl ⁻¹ --	-- mg g ⁻¹ --	-- mg pl ⁻¹ --
Uréia	3,39 a	1015 a	31,46 a	3086 a
Sulfato de amônio	2,72 b	1091 a	24,85 b	1435 b
Nitrocálcio	2,66 b	1331 a	31,68 a	1768 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Dados do teor e conteúdo de N sob diferentes doses de adubos nitrogenados são apresentados na tabela 18. Observa-se que não houve diferença significativa entre as doses de N sobre o conteúdo de N em raízes e folhas. Observa-se também, que houve efeito significativo para o teor de N em raízes em função das doses de 60 e 120 kg N ha⁻¹. O teor de N em folhas foi significativamente superior quando aplicadas as doses de 160 e 200 kg N ha⁻¹.

Tabela 18. Teor e conteúdo de nitrogênio em raiz e folha de mandioca aos onze meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Teor de N	Conteúdo de N	Teor de N	Conteúdo de N
	raiz	raiz	folha	folha
	--- mg g ⁻¹ ---	--- mg pl ⁻¹ ---	--- mg g ⁻¹ ---	--- mg pl ⁻¹ ---
0	2,49 b	742 a	25,68 b	1214 a
60	3,38 a	1553 a	26,76 b	2229 a
120	3,42 a	1141 a	26,31 b	2065 a
160	2,63 ab	1202 a	33,28 a	2335 a
200	2,73 ab	1091 a	34,63 a	2637 a

Médias seguidas por letras comuns dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

4.3.3. Teor de N-amino e N-nitrato

Os teores de N-amino e N-NO₃⁻ em folhas sob diferentes fontes e doses de adubos nitrogenados, encontram-se nas Tabelas 19 e 20 respectivamente. Em termos de concentração foliar de N-amino, houve um teor significativamente superior nas plantas que receberam nitrocálcio. Partindo do pressuposto que as plantas tratadas com nitrocálcio estavam submetidas a nutrição nítrica, este aumento isolado do teor de N-amino seria difícil de explicar, uma vez que esses aumentos normalmente estão associados a nutrição amoniacal. Entretanto, quando se considera esse dado em conjunto com o correspondente a carboidratos solúveis (Tabela 23), observa-se que houve uma brusca redução do teor de açúcares foliares associados à aplicação de nitrocálcio. Como os açúcares solúveis são fontes de energia rapidamente disponível para processos metabólicos é, possível que o acúmulo de N-amino nesse caso, reflita uma limitação energética para a sua incorporação em proteína foliar.

Observa-se que não houve efeito significativo entre as fontes de N sobre o teor de nitrato em folhas (Tabela 19). No entanto, tratando-se de doses de N, observa-se que as doses de 60 e 120 kg N ha⁻¹ interferiram significativamente no teor de nitrato em folhas (Tabela 20).

Tabela 19. Teor de N-amino e N-NO₃⁻ em folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte de N	N-amino	N-NO ₃ ⁻
	----- μmol g ⁻¹ pf, -----	----- μg g ⁻¹ pf, -----
Uréia	27,1 b	0,07 a
Sulfato de Amônio	27,6 b	0,08 a
Nitrocálcio	40,6 a	0,06 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Tabela 20. Teor de N-amino e N-NO₃⁻ em folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	N-amino	N-NO ₃ ⁻
	---- μmol g ⁻¹ pf, ----	---- μg g ⁻¹ pf, ----
0	34,111 a	0,066 b
60	29,797 a	0,095 a
120	34,124 a	0,113 a
160	31,417 a	0,030 c
200	29,535 a	0,062 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os resultados dos teores de N-amino e nitrato em raízes, em função de fontes e doses de adubos nitrogenados respectivamente.

Em geral, os maiores teores de N-amino e nitrato foram observados com a aplicação de ureia. No tocante as doses de N, observou-se que os maiores valores de N-amino foram encontrados nos níveis de 60 e 200 kg N ha⁻¹ e, o maior valor de nitrato na dose de 60 kg N ha⁻¹.

De acordo com esses dados, observa-se que nesta época amostral houve uma reversão dos fluxos de C e N, passando as raízes, a serem o local preferencial de acúmulo de nitrato nas plantas, quando comparado com as amostragens aos sete meses após o plantio.

Tabela 21. Teor de N-amino e N-NO₃⁻ em raízes de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte de N	N-amino	N-NO ₃ ⁻
	----- μmol g ⁻¹ pf. -----	----- μg g ⁻¹ pf. -----
Uréia	4,022 a	19,690 a
Sulfato de Amônio	3,757 ab	13,099 b
Nitrocálcio	3,016 b	8,792 c

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Tabela 22. Teor de N-amino e N-NO₃⁻ em raízes de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	N-amino	N-NO ₃ ⁻
	---- μmol g ⁻¹ pf ----	---- μg g ⁻¹ pf ----
0	11,312 b	3,738 b
60	16,426 a	4,903 a
120	11,835 b	2,904 b
160	12,761 b	3,043 b
200	16,969 a	3,403 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

4.3.4. Teor de açúcares solúveis

Nas Tabelas 23 e 24 estão indicados os teores de açúcares solúveis. Não se constatou diferenças significativas entre as três fontes de adubos nitrogenados, quanto ao teor de açúcares solúveis em raiz. Os maiores teores de açúcares solúveis em folhas, foram observados para os tratamentos com ureia e sulfato de amônio. Há uma quantidade significativamente menor de açúcares solúveis nas folhas dos tratamentos que receberam nitrocálcio. Essa redução pode ser explicada devido ao grande aumento experimentado pela biomassa radicular correspondente a essa fonte de N (Tabela 15), representando um significativo dreno para os carboidratos produzidos na parte aérea.

A dose de 60 kg N ha⁻¹ influenciou significativamente os teores de açúcares solúveis em raízes (Tabela 24). No entanto, não observou-se diferença significativa de doses de N nos teores de açúcares solúveis em folhas (Tabela 24).

Tabela 23. Teor de Açúcares solúveis em raízes e folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte	Raiz		Folha	
	----- mg g ⁻¹ -----			
Uréia	17,165	a	28,262	a
Sulfato de Amônio	16,608	a	26,336	a
Nitrocálcio	16,168	a	12,276	b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Tabela 24. Teor de Açúcares solúveis em raízes e folhas de mandioca aos onze meses após o plantio sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Raiz		Folha	
	----- mg g ⁻¹ -----			
0	13,713	c	24,135	a
60	21,105	a	22,815	a
120	15,606	bc	20,688	a
160	15,433	bc	25,209	a
200	17,379	ab	18,609	a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

4.4. Efeito da Adubação Nitrogenada sobre a Cultura na Mandioca aos Treze Meses Após o Plantio

4.4.1. Produção de biomassa

O período compreendido entre a segunda e a terceira amostragem (abril-junho/2000) caracterizou-se pela ocorrência de um longo período de estiagem (47,8 mm de chuvas totais no período). A ocorrência de período seco nesta época não foi prejudicial à produção de raízes, pelo contrário, estimulou a abscisão foliar e inibiu novas brotações.

Na Tabela 25 são apresentados os efeitos de fontes de adubos nitrogenados sobre matéria seca de raiz, folha, caule, matéria seca total, IC e relação raiz parte aérea. Observa-se

que o efeito médio dos tratamentos com N-nítrico ou N-amoniacoal foi superior (em $\pm 20\%$) ao N-amida (uréia) para o rendimento de massa seca de raiz, porém sem atingir significância estatística. Assim, a aplicação de nitrocálcio e sulfato de amônio causou maior acúmulo de massa seca de raiz com valores de 2,40:1 e 1,89:1 respectivamente (Tabela 25). A maior produção de raízes correspondeu ao sulfato de amônio, resultando ligeiramente superior à registrada com o nitrocálcio. Os índices de colheita foram: 56, 65 e 71% para uréia, sulfato de amônio e nitrocálcio respectivamente.

Quanto à produção da parte aérea, os dados mostram que não houve diferenças significativas para o acúmulo de massa seca em folhas e caules.

Na tabela 26, são apresentados os efeitos de doses de adubo nitrogenado sobre matéria seca de raiz, folha, caule e matéria seca total de mandioca aos 13 meses após plantio. Verifica-se que, na ausência da adubação nitrogenada, a produção de raízes foi igual à obtida com 60 kg N ha^{-1} , superando ainda, em termos absolutos, todos os demais níveis de aplicação de N. Este resultado, pode parecer inesperado, porém, pode ser justificado ao se comparar as produções de raízes aos 11 e 13 meses após o plantio. A partir dos dados das Tabelas 16 e 26, pode ser verificado que a taxa de acúmulo de matéria seca da testemunha, nesse período, foi de $7,1 \text{ g ms/m}^2/\text{dia}$, enquanto que nos outros tratamentos que receberam N, esta taxa resulta nula ou ainda negativa. Devido a esse processo, onde os tratamentos adubados diminuíram seu crescimento radicular a partir dos onze meses, enquanto a testemunha continuou seu processo de acúmulo de matéria seca nas raízes até os treze meses, os rendimentos finais, tanto de matéria seca total, como de biomassa radicular e o índice de colheita associado, tenderam a se igualar, independente do nível de nitrogênio aplicado.

Tabela 25. Matéria seca de raiz, folha, caule, índice de colheita, relação raiz parte aérea e matéria seca total de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte	Raiz	Folha	Caule	Total	IC	Relação raiz:parte aérea
	----- g pl^{-1} -----				(%)	
Uréia	386 a	42,32 a	266 a	694 a	56	1,25 a
Sulfato de Amônio	476 a	20,91 a	235 a	733 a	65	1,80 a
Nitrocálcio	457 a	21,76 a	169 a	648 a	71	2,40 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

Tabela 26. Matéria seca de raiz, folha, caule, índice de colheita (IC), relação raiz parte aérea e matéria seca total de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha^{-1})	Raiz	Folha	Caule	Total	IC	Relação raiz:parte aérea
	----- g pl^{-1} -----				(%)	
0	506 a	17,85 a	217 a	742 a	68	2,15 a
60	508 a	30,01 a	269 a	807 a	63	1,69 a
120	416 a	29,35 a	216 a	662 a	63	1,69 a
160	371 a	38,43 a	211 a	621 a	59	1,50 b
200	379 a	26,00 a	204 a	627 a	63	1,70 a

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

4.4.2. Acúmulo de N na biomassa

Analisando as diferentes fontes de adubo, sobre os teores de N na raiz, observa-se que os tratamentos com uréia e sulfato de amônio apresentaram efeito significativo sobre esse parâmetro, sendo superiores ao nitrocálcio. Para o conteúdo de N em raiz e o teor de N em folhas, não constatou diferenças significativas entre as fontes. Encontrou-se efeito positivo no conteúdo de N em folhas, quando o tratamento com ureia foi utilizado (Tabela 27).

Tabela 27. Teor e conteúdo de nitrogênio em raiz e folha de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes fontes de adubos nitrogenados.

Fonte	Teor de N	Conteúdo de N	Teor de N	Conteúdo de N
	raiz	raiz	folha	folha
	(mg g ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)
Uréia	3,30 a	1309 a	26,72 a	1138 a
Sulfato de amônio	3,14 a	1461 a	27,56 a	591 b
Nitrocálcio	2,52 b	1215 a	27,92 a	660 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Na Tabela 28, observa-se que os teores de N nas raízes, na dose de 120 kg N ha⁻¹, foram superiores as demais doses. Já, os conteúdos de N nas raízes e os teores de N nas folhas não apresentaram efeitos significativos. Observa-se na mesma Tabela, que a dose de 160 kg N ha⁻¹ apresentou efeito significativo para o conteúdo de N na folha.

Tabela 28. Teor e conteúdo de nitrogênio em raiz e folha de mandioca aos 13 meses após plantio, sob diferentes doses de adubos nitrogenados.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Teor de N	Conteúdo de N	Teor de N	Conteúdo de N
	raiz	raiz	folha	folha
	(mg g ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)
0	3,09 ab	1570 a	24,89 a	390 b
60	2,48 c	1295 a	25,72 a	800 ab
120	3,62 a	1433 a	27,19 a	826 ab
160	2,61 bc	1002 a	30,41 a	1239 a
200	3,12 ab	1342 a	28,78 a	727 b

Médias seguidas por letras comuns, dentro de coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos, os resultados do presente trabalho permitiram as seguintes conclusões:

a) A cultura da mandioca responde diferencialmente a aplicação de uréia, sulfato de amônio e nitrocálcio em termos de produção e partição da biomassa total na fase inicial de crescimento, porém as diferenças tenderam a diluir-se em estágios mais avançados, independentemente do nível de aplicação de nitrogênio;

b) As concentrações de N-amino e açúcares solúveis foram sensivelmente diferentes às fontes e níveis de N aplicado;

c) Dentro do período de crescimento da cultura, houve uma resposta da mesma à aplicação de N, podendo se comportar como uma espécie eficiente pouco responsiva;

d) A aplicação de 30 Kg N ha⁻¹, resultou num aumento de 11% no teor de N em folhas;

e) O teor de N nas folhas foi aproximadamente sete vezes maior que o teor de N em raízes, independente da forma de adubo utilizado;

f) Aos 7 meses após o plantio, a uréia contribui com maior produção de massa seca total, em relação ao nitrocálcio, devido em parte, a maior produção de massa seca de raízes (+85%) e caule (+55%);

g) Aos 11 meses após o plantio a uréia proporcionou maior produção de massa seca de folhas (+66%) e caule (+69%) em relação ao sulfato de amônio e nitrocálcio;

h) Aos 13 meses após o plantio, o nitrocálcio e sulfato de amônio proporcionaram rendimento de massa seca de raiz 20% superior ao da uréia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUNA-RODRIGUEZ, F.; VICENTE-CHANDLER, J.; RIVERA, E.; RODRIGUEZ, J. Effect of soil acidity factors on yields and foliar composition of tropical root crops. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 46, n.5, p. 1004-1007, 1982.

ANDRADE, W. E. B.; CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M. **A cultura do aipim: perspectivas, tecnologias e viabilidade**. Niterói: Pesagro-Rio, 1999. 26 p. (Pesagro-Rio. Documento, 48).

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SCHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas, Brazilian Soil Science Society, 1997, p.75-95.

BARBER, K. L.; PIERZYNSKI, G. M. Ammonium and nitrate source effects on field crops. **Journal of Fertilizer Issues**, v. 8, p. 57-62, 1991.

BARROS, R. S. Fisiologia da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **I Curso intensivo nacional de mandioca**. Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira. Centro Nacional de Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas. Bahia, 1976, p. 231-257.

BOLHUIS, G. G. Influence of length of the illumination period on root formation in cassava (*Manihot utilissima* Pohl). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 14, p. 251-254, 1966.

BOYER, J. S. Photosynthesis at low water potentials. **Phyl. Trans. R. Soc. B**, v. 273, p. 501-512, 1976.

BLAIR, G. Nutrient efficiency - what do we really mean? In: RANDALL, P.J., DELHAIZE, E., RICHARDS, R. A., MUNNS, R. (Eds.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht Kluwer Academic, 1993, p. 205-213.

CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p.71-80, 1975.

COCK, J. H. Cassava. In: GOLDSWORTHY, P. R.; FISHER, N. M. (ed.). **The physiology of tropical field crops**. New York: John Wiley, 1984, p. 529-549.

COCK, J. H. **Cassava: New Potential for a Neglected Crop**. Westview Press, Boulder and London, 1985, 192 p.

COCK, J.H. **La Yuca: nuevo potencial para un cultivo tradicional**. Cali, CIAT, 1990, 240 p.

COCK, J. H.; HOWELER, R. H. The ability of cassava to growth on poor soils. In: G. A JUNG (Ed.). **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. 1978, p. 145-154.

COCK, J. H.; ROSAS, S. C. Ecophysiology of cassava. In: **Symposium on ecophysiology of tropical crops**. Manaus. Ilhéus/Itabuna: CEPLAC. 1975, p. 1-14.

CONNOR, D. J.; COCK, J. H.; PARRA, G. E. Response of cassava to water shortage I. Growth and yield. **Field Crops Research**, v. 4, p. 181-200, 1981.

CONCEIÇÃO, A. J. **A Mandioca**. São Paulo: Nobel, 1981, 382 p.

CONCEIÇÃO, A. J. **A Mandioca**. São Paulo: Nobel, 1983, 382 p.

CONCEIÇÃO, A. J. **A Mandioca**. São Paulo: Nobel, 1987, 382 p.

CORREA, H. **Cultura da mandioca: Curso intensivo sobre a cultura da mandioca**. INCRA-FAEPE, Lavras, MG, 1977, 86 p.

HAK, R.; NATR, L. Effect of nitrogen starvation and recovery on gas exchange characteristics of young leaves. **Photosynthetica**, Prague, v. 21, n. 1, p. 9-14, 1987.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, p. 239-298, 1980.

DENNETT, M. D. The tropical environment. In: GOLDSWORTHY, P. R.; FISHER, N. M. (Eds). **The physiology of tropical crops**, John Wiley, 1984, p. 1-38.

DUNCAN, R. R., BALIGAR, V. C. Genetics breeding and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: an overview. In: BALIGAR, V. C., DUNCAN, R. R. **Crops as enhancers of nutrient use**, Ed. Academic Pres. New York. 1990. p. 3-35.

EDWARDS, D. G.; ASHER, C.J.; WILSON, G. L. Mineral nutrition of cassava and adaptability to low fertility conditions. In: **Symposium of the International Society for Tropical Root Crops**. Cali, Colombia, IDRC 080 E, Ottawa, 1977, p. 124-130.

EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H. Response of cassava to water stress. **Plant Soil**, v.100, p. 345-360, 1987.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of fields crops: Cassava and Potato**. Marcel Dekker, New York.1991, 476 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1994, 227 p.

FAO. Disponível em: <http://apps.fao.org/egibin/nphdb.pl>. Acesso em: 20 out. 1997.

FAO. Disponível em: <http://apps.fao.org/egibin/nphdb.pl>. Acesso em: 23 dez. 1999.

FERNANDES, M.S. **Effects of light and temperature on the nitrogen metabolism of tropical rice**. 1974. 80 p. Tese (Ph.D. em Nutrição de Plantas) - Michigan State University, Michigan.

FERNANDES, M. S.; ROSSIELLO, R. O. P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.14, n. 2, p. 111-148, 1995.

FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p.1353-1359, 1999.

FIGUEIREDO, A. A.; REGO, M. M. Teor proteico e mineral em raízes e folhas de mandioca. **Centro Tecnologia Agrícola e Alimentos**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 23-25, 1973.

FISHER, N. M. Crop growth and development: the vegetative phase. In: GOLDSWORTHY, P. R., FISHER, N. M. (ed.). **The physiology of tropical field crops**. John Wiley, New York, 1984, p. 119-161.

GERLOFF, G. C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. In: WRIGHT, M. J. (Ed). **Plant adaptation to mineral stress in problem soils**. Cornell University Press, Ithaca, New York. 1977, p. 161-173.

GOMEZ, J. C.; HOWELER, R. H. WEBBER, E. J. Cassava production in low fertility soils. In.: TORO, M. J. C.; GRANHAM, M. (ed.). **Cassava Cultural Practices**, Salvador-BA, Brazil, 1980, p. 92-102.

GUERROUÉ, J.; DOUILLARD, R.; CEREDA, M. P.; MARILEUSA D.; CHIARELLO, M. D. As proteínas de folhas de mandioca: aspectos fisiológicos, nutricionais e importância tecnológica. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 133-148, 1996.

GUITIERREZ, L.E.; LORENZI, J. O. Reserva de nitrogênio orgânico em raízes e hastes de mandioca durante o período de “repouso fisiológico”. **O Solo**, v.72, n.1, p.15-20, 1980.

GREENWOOD, D. J.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOTT, A.; MILLARD, P.; NEETSON, J. J. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. **Annals of Botany**, London, v.67, p. 181-190, 1991.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J., BENNETT, J. M., SINCLAIR, T. R. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994, p. 285-302.

HONGSAPAN, S. Does planting of cassava really impoverish the soil? **Kasikorn**, v.35, n. 5, p. 403-407, 1962.

HOWELER, R. H. **Mineral nutrition and fertilization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cali, CIAT, 1981, 52 p.

HOWELER, R.H. Potassium nutrition of cassava. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**. American Society of Agronomy, Madison, USA. 1985, p. 819-841.

HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12 months growth cycle of cassava. **Field Crop Research**, v. 7, p. 123-139, 1983.

IBGE - **LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA** - Rio de Janeiro, dez. 1998.

IRIKURA, Y., COCK, J. H.; KAWANO, K. The physiological basis of genotype-temperature interactions in cassava. **Field Crops Research**, v. 2, p. 227-239, 1979.

IRIZARRY, H.; RIVERA, E. Nutrient and dry matter contents of intensively managed cassava growth on an Ultisol. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 67, p. 213-220, 1983.

JONES, H. G.; FLOWERS, T. J.; JONES, M. B. **Plants under stress. Biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement**. Cambridge University Press, Cambridge, 1993, 268 p.

LANCASTER, P. A., BROOKS, J. E. Cassava leaves as human food. **Economic Botany**, v. 37, p. 331-348, 1983.

LORENZI, J. O.; DIAS, C. A. **Cultura da mandioca**. Campinas: CATI, 1993. 41 p. (Boletim Técnico, 211).

MAGALHÃES, J. R.; WILCOX, G. E. Tomato growth, nitrogen fraction and mineral composition in response to nitrate and ammonium foliar sprays. **Journal of Plant Nutrition**, v. 66, n.11, p. 911-939, 1983.

MANDAL, R. C.; SINGH, K. D.; MAGOON, M. L. Relative efficacy of different sources, levels and split application of nitrogen in tapioca. **Indian J. Agron.** v.16, n. 4, p. 449-452, 1971.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York: Acad. Press, 1995, 889 p.

NASSAR, N. M. A. Conservation of the genetic resources of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) determination of wild species localities with emphasis on probable origin. **Economic Botany**, v. 32, p. 311-320, 1978.

OLIVEIRA, S. L.; MACEDO, M. M. C.; PORTO, M. C. M. Efeito do déficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.1 p. 121-124, 1982.

OTSUBO, A. A.; MELO-FILHO, G. A. **A evolução da cultura da mandioca em Mato Grosso do Sul**. Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 32 p. (Circular Técnica, 1).

ROSSIELLO, R. O. P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*, cv. NA 56-79) em resposta à adubação nitrogenada em Cambissolo**. 1987. 172 f. (Tese Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ROGERS, D. J.; APPAN, S. G. *Manihot* and *Manihotoides* (Euphorbiaceae). A computer-assisted study. Flora Neotropica. Hafner Press, New York, 1973, 272 p. (Monograph, 13).

VIDIGAL FILHO, P.S. **Influência do sistema de plantio e da adubação sobre a profundidade e produção de raízes tuberosas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** 1981. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Viçosa, UFV, 1981.

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKSWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995, 74 p. (Boletim Técnico, 5).

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of aminoacids with ninhidrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-214, 1955.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, London, v.57, n.3, p. 508-514, 1954.

YEOH H.H.; CHEW M.Y. Protein content and amino acid composition of cassava leaf. **Phytochemistry**, v.15, p.1597-1599, 1976.

YEOH, H. H., TRUONG, V. D. Protein contents, amino acid compositions and nitrogen-to-protein conversion factors for cassava roots. **J.Sci. Food Agric.** v.70, p. 51-58, 1996.